Staatstoezicht op de Mijnen
Ministerie van Economische Zaken

Seismisch risico Groningenveld
Beoordeling rapportages & advies

Staatstoezicht op de Mijnen

Juni 2015

Inhoud

Samenvatting

Dit rapport gaat over de seismische dreiging en het seismisch risico[1] van de aardbevingen die veroorzaakt worden door gaswinning uit het Groningenveld en over de resultaten van de monitoring van die aardbevingen. Het rapport van Staatstoezicht op de Mijnen (SodM) is opgesteld op verzoek van de Minister van Economische Zaken. In het belang van veiligheid heeft SodM aanvullend onderzoek laten doen naar het seismisch risico. Naar aanleiding van de beoordeling van SodM van alle uitgevoerde onderzoeken zijn er enkele adviezen aan dit rapport toegevoegd.

Dit rapport is enerzijds gebaseerd op rapporten die NAM in mei 2015 bij SodM heeft ingediend. Anderzijds is het gebaseerd op onafhankelijke analyses en controleberekeningen die SodM heeft laten uitvoeren door TNO, KNMI, TU Delft en CBS. Verder heeft SodM enkele aardbevingsexperts uit binnen- en buitenland geraadpleegd.

In deze samenvatting worden de belangrijkste conclusies en kanttekeningen van SodM bij de rapporten van NAM en de resultaten van het onafhankelijk onderzoek en de controleberekeningen weergegeven. SodM stelt vast dat de risicoberekeningen, ondanks de verschillende wetenschappelijke benaderingen die NAM en SodM hebben gevolgd, tot vergelijkbare uitkomsten leiden. Hetzelfde geldt voor de statistische analyses van de opgetreden aardbevingen. In de paragrafen 5 en 6 van dit rapport wordt in detail op de resultaten van de verschillende onderzoeken ingegaan.

De belangrijkste conclusies en kanttekeningen van SodM zijn de volgende:

Conclusies

1. Het verlagen van de gasproductie leidt tot minder seismiciteit en daarmee tot een lager seismisch risico. SodM acht dit nu afdoende overtuigend aangetoond op basis van aanvullend wetenschappelijk onderzoek door NAM, TNO en CBS sinds het SodM advies van december 2014.
2. Veranderingen in de gasproductie uit het Groningenveld hebben invloed op het aantal aardbevingen en daarmee op de kans op sterke aardbevingen[2]. De tijdsduur tussen veranderingen in de productie en veranderingen in de seismische activiteit ligt in de orde van 3 à 4 maanden. Dat is korter dan de 1 à 1½ jaar die eerder werd aangenomen. De seismische activiteit in het Groningen gasveld reageert dus sneller dan gedacht op ingrepen in de productie.

---

[1] **Seismische dreiging**: de kans dat er een aardbeving plaats vindt met een grondversnelling welke een gegeven grenswaarde overschrijdt (binnen een bepaalde periode, bijv. 1, 10 of 50 jaar).
Seismisch risico: de kans op door aardbevingen veroorzaakte schade (aan mensen, gebouwen, infrastructuur, productie). Risico wordt – in het algemeen – bepaald door de combinatie van de kans dat iets gebeurt en de potentiële effecten daarvan. In die zin is "seismisch risico" de combinatie van de "seismische dreiging" en de potentiële effecten.

[2] Onder "sterke" aardbevingen verstaat SodM aardbevingen met een kracht van meer dan 3 op de schaal van Richter.

3. Alleen een blijvende en significante vermindering van de gasproductie in het hele gasveld, eventueel in combinatie met maatregelen om de druk in het gasveld te handhaven, zal leiden tot een structureel lager aardbevingsniveau en daarmee tot een lagere kans op sterke aardbevingen.
4. SodM heeft seismische dreigingsanalyses beoordeeld voor de productieniveaus: 45, 39,4 en 33 miljard Nm^3 per jaar voor de periode van 1 januari 2015 tot 1 januari 2017. Voor de periode 1 juli 2016 tot 1 juli 2021 zijn voor de scenario's 39,4, 33 en 20 miljard Nm^3 per jaar zowel de seismische dreigingsanalyses als de seismische risicoanalyses beoordeeld en vergeleken. Uit de beoordeling van SodM blijkt, dat:
    a. De risicoanalyses van NAM gaan over woningen. Bedrijven die vallen onder het Besluit Externe Veiligheid (bijvoorbeeld op het chemiepark Delfzijl) zijn nog niet in de berekeningen meegenomen[3]. Ook ontbreekt nog een beschouwing van het groepsrisico.
    b. Het seismische dreigingsniveau (de grondversnellingen bij een jaarlijkse overschrijdingskans van 0,2%) voor de verschillende productiescenario's wordt thans lager ingeschat dan eerder werd gerapporteerd. Het seismisch risico neemt echter nauwelijks af. De oorzaak daarvan is dat de kwetsbaarheid van woningen groter lijkt dan eerder werd aangenomen. Onderzoek hiernaar is nog gaande.
    c. Het seismisch risico bij een jaarproductie van 39,4 respectievelijk 33 miljard Nm^3 is daardoor nog steeds vergelijkbaar[4] met de uitkomsten van de Impact Assessment Nederlandse Praktijk Richtlijn (NPR) van januari 2015, dat wil zeggen dat tienduizenden huizen niet voldoen aan de NPR.
5. Alleen een productieniveau dat aanmerkelijk lager ligt dan 33 miljard Nm^3/jaar leidt, in combinatie met versterking van gebouwen, tot een substantiële verdere verlaging van het seismisch risico. Echter:
    a. Door het ontbreken van een geaccepteerde veiligheidsnorm en door de aanzienlijke onzekerheden in de gegevens die ten grondslag liggen aan de risicoberekeningen kan SodM niet scherp aangeven bij welke combinatie van jaarproductie en gebouwenversterking het omslagpunt ligt naar een acceptabel veiligheidsniveau. Om dat omslagpunt beter te bepalen is nader onderzoek nodig.
    b. Evenmin kan SodM aangeven welk productieniveau nodig is uit oogpunt van leveringszekerheid. En ook niet welke technische maatregelen (benodigde stikstofcapaciteit, opslagcapaciteit, etc.) nodig zijn om een bepaald productieniveau te handhaven en op welke termijn die beschikbaar kunnen zijn.
    c. Het is op dit moment voor SodM niet voldoende duidelijk in welke mate een niet-gelijkmatige productie effect heeft op de seismiciteit. Hiervoor is nader onderzoek nodig.

---

[3] Het is SodM bekend dat de Samenwerkende Bedrijven Eemsdelta (SBE) sinds medio 2013 bezig zijn met een onderzoek naar de aardbevingsbestendigheid van BRZO bedrijven.
[4] NAM geeft weliswaar geen absolute getallen voor het seismisch risico, maar SodM meent dat er, op basis van controleberekeningen die zij door TNO heeft laten uitvoeren, voldoende informatie is om deze uitspraak te kunnen doen.

Kanttekeningen

- De grondslagen en aannames in de berekeningen van het seismisch risico kennen nog steeds grote onzekerheden.
- De maatregel om de gasproductie rond Loppersum sterk terug te brengen heeft een gunstige uitwerking op de seismische activiteit in die regio. Berekeningen van NAM en TNO wijzen echter uit dat de gunstige gevolgen van deze maatregel tijdelijk zijn. Doordat de gasvoerende gesteentelagen in het hele Groningenveld met elkaar in verbinding staan, zal de gaswinning en de daarmee gepaard gaande drukdaling in de rest van het gasveld, op een termijn van 3 à 5 jaar (gerekend vanaf begin 2014) weer leiden tot een toename van de drukdaling rond Loppersum. Alleen een blijvend en significant lager niveau van gaswinning in het hele gasveld, eventueel in combinatie met maatregelen om de druk in het gasveld te handhaven, zal leiden tot een structureel lager aardbevingsniveau en daarmee tot een lagere kans op sterke aardbevingen.

Advies SodM

Op grond van de conclusies en kanttekeningen die er thans liggen adviseert SodM het volgende:

1. **Stel op korte termijn de norm vast voor het plaatsgebonden risico[5]van geïnduceerde aardbevingen.**
   Toelichting: Zolang er geen norm is voor het plaatsgebonden risico door geïnduceerde aardbevingen, is er geen eenduidige maatstaf waarop de gasproductie kan worden afgestemd.

2. **Breng de gasproductie zo snel als realistisch mogelijk is zodanig terug dat de risico´s voldoen aan de vastgestelde norm (1). Onderzoek daarvoor op korte termijn:**
   a. **het effect van kortdurende (enkele weken), sterke productiefluctuaties in de verschillende regio's[6] van het Groningenveld op de seismiciteit**
   b. **bij welke combinatie van jaarproductie, productieverdeling en gebouwenversterking het omslagpunt ligt naar een veiligheidsniveau dat voldoet aan de vastgestelde norm.**

   Toelichting: Het is van groot belang dat de gasproductie van het Groningenveld zodanig wordt ingericht dat de inwoners van het aardbevingsgebied weten waar ze aan toe aan. Dat betekent dat de gaswinning moet voldoen aan een vastgestelde veiligheidsnorm voor geïnduceerde aardbevingen. Om dit te bereiken adviseert SodM om een risicogerichte manier van produceren te introduceren. Hiervoor is het nodig om over een goed inzicht te

[5] (Individueel) Plaatsgebonden Risico/ Lokaal Persoonlijk Risico: de kans dat iemand op een bepaalde locatie komt te overlijden in de periode van een jaar (in dit rapport ten gevolge van het bezwijken van een gebouw als gevolg van een aardbeving).

[6] Onder regio's wordt hier verstaan: Regio Loppersum: clusters Ten Post, De Paauwen, Overschild, Leermens, 't Zand; Regio Eemskanaal: cluster Eemskanaal; Regio Zuid-West: clusters Kooipolder, Slochteren, Zuiderveen, Spitsbergen, Tusschenklappen, Froombosch, Sappemeer; Regio Oost: clusters Bierum, Amsweer, Schaapbulten, Tjuchem, Siddeburen, Oudeweg, Zuiderpolder, Scheemderzwaag, De Eeker.

beschikken in de effecten van productiefluctuaties. Daarnaast moet er een goed inzicht zijn in de technische randvoorwaarden om de gasproductie ongestoord te laten verlopen. In het meet- en regelprotocol, dat de Minister van Economische Zaken als voorschrift (art. 4) aan het instemmingsbesluit heeft verbonden, is reeds een risicogerichte, adaptieve manier van produceren opgenomen met het oogmerk het seismisch risico te minimaliseren.

3. **Zorg dat de gasproductie in het tweede halfjaar van 2015 niet boven het productieplafond van het eerste halfjaar uitgaat en dat de verdeling van de gasproductie over de verschillende regio's, met inachtneming van de huidige productieplafonds, zodanig plaatsvindt, dat het seismisch risico wordt geminimaliseerd.**
   Toelichting: Als in het 2^{e} halfjaar van 2015 de gasproductie zou stijgen van 16,5 naar 22,9 miljard Nm^3 om het toegestane productieplafond van 39,4 miljard Nm^3 te halen, dan zou dat mogelijk kunnen uitmonden in een aanzienlijke toename van de seismiciteit.

4. **Zorg dat alle inrichtingen die vallen onder het Besluit Externe Veiligheid, inclusief mijnbouwwerken, hun reeds bestaande kwantitatieve risicoanalyse voor het vaststellen van het "plaatsgebonden risico" en het "groepsrisico voor omwonenden[7]" zo spoedig mogelijk uitbreiden met scenario's voor aardbevingen en faalkansen van insluitsystemen onder aardbevingsbelasting.**
   Toelichting: SodM heeft vastgesteld dat bedrijven die vallen onder het Besluit Externe Veiligheid nog niet zijn meegenomen in de risicoanalyses van NAM. Het is SodM bekend dat er sinds medio 2013 door de Samenwerkende Bedrijven Eemsdelta (SBE) gewerkt wordt aan onderzoeken naar de aardbevingsbestendigheid van industriële installaties in de Eemsdelta. De voortgang daarvan is echter beperkt. Tot nu toe zijn er alleen kwalitatieve analyses uitgevoerd. Dat zou voortvarend uitgebreid moeten worden naar kwantitatieve risicoanalyses.

5. **Laat zo snel mogelijk het groepsrisico voor het door geïnduceerde aardbevingen beïnvloede gebied bepalen.**
   Toelichting: SodM is van mening dat groepsrisico's voor de besluitvorming minstens net zo belangrijk zijn als het plaatsgebonden risico. Vooral de jaarlijkse kans dat er een groep personen komt te overlijden ten gevolge van een geïnduceerde aardbeving in de regio Groningen is een belangrijk gegeven. Met de uitvoering van dit advies wordt inzicht verkregen in de slachtofferfrequentie ten gevolge van de bevingen en de aanvaardbaarheid van deze frequentie.

---

[7] (Individueel) Plaatsgebonden Risico/ Lokaal Persoonlijk Risico: de kans dat iemand op een bepaalde locatie komt te overlijden in de periode van een jaar (in dit rapport ten gevolge van het bezwijken van een gebouw als gevolg van een aardbeving).
Groepsrisico: de kans per jaar dat een groep personen van een bepaalde grootte (bijvoorbeeld 1, 10, 100 of 1000 personen) tegelijk slachtoffer wordt van een incident (in dit rapport: als gevolg van een aardbeving).

1. Leeswijzer

Dit rapport is als volgt opgebouwd:

Paragraaf 2 geeft een algemene inleiding op dit rapport. Daarin komt onder meer aan de orde: waarover gaat dit rapport? wie heeft erom gevraagd?

Paragraaf 3 schetst de werkwijze van SodM bij het opstellen van dit rapport.

Paragraaf 4 geeft een overzicht van eerdere adviezen van SodM over de aardbevingen in Groningen. Deze adviezen hadden elk een ander doel. In deze paragraaf wordt ter verduidelijking de rode draad in deze adviezen zichtbaar gemaakt.

Paragraaf 5 gaat nader in op de onderzoeken van NAM naar trends en correlaties in het verloop van de seismische activiteit. Het gaat dan vooral om het effect van het terugbrengen van de gaswinning rond Loppersum en om de mogelijke verbanden tussen seismische activiteit, het productietempo en plotselinge veranderingen in het productietempo.SodM vergelijkt de analyses van NAM met analyses die op verzoek van SodM door het CBS en TNO zijn uitgevoerd. De paragraaf eindigt met conclusies.

Paragraaf 6 geeft het oordeel van SodM op de analyse die NAM in mei 2015 heeft ingediend over de seismische dreiging (hazard) en het seismisch risico. De visie van SodM is mede gebaseerd op controleberekeningen die de dienst heeft laten uitvoeren door TNO. Aan het einde van de paragraaf worden de conclusies van SodM over de seismische dreiging en het seismisch risico vermeld.

Paragraaf 7 bevat het advies van SodM op basis van de conclusies uit de voorgaande paragrafen.

Aan het rapport is een lijst van geraadpleegde documenten toegevoegd.

De bijlage bevat een omschrijving van de gebruikte vaktermen.

2. Inleiding

Seismisch risico

In januari 2015 heeft de Minister van Economische Zaken (EZ) ingestemd met een gewijzigd winningsplan voor de gaswinning uit het Groningenveld. Aan deze instemming zijn beperkingen en voorschriften verbonden. Eén van de voorschriften is, dat NAM een rapport maakt waarin inzichtelijk wordt gemaakt wat het **seismisch risico** is voor de verschillende gebieden boven het Groningenveld voor de periode 2015-2016. Dit rapport moet uiterlijk 1 mei 2015 worden ingediend bij de Inspecteur-generaal der Mijnen. De Minister van Economische Zaken heeft aan Staatstoezicht op de Mijnen (SodM) gevraagd om een oordeel te geven over het rapport en een nader advies. Het gaat dan met name over de vraag of NAM een correct beeld schetst van het verschil in het seismisch risico tussen een jaarproductie van 39,4 respectievelijk 33 miljard Nm^3 voor de jaren 2015 en 2016[8]. Aan de hand van de beoordeling van SodM neemt de Minister een besluit over het productieniveau voor het jaar 2015.

NAM heeft in mei en juni bij SodM enkele rapporten ingediend over de seismische hazard en het seismisch risico [1,2,3,4,5]. Deze rapporten bevatten onder meer risicokaarten waarop NAM voor verschillende productieniveaus aangeeft hoe hoog in het basisscenario het gemiddelde[9] Lokaal Persoonlijk Risico is voor personen die zich voortdurend in een gebouw bevinden.

In dit rapport geeft SodM de door de Minister gevraagde beoordeling en een nader advies. Om een beter gevoel te krijgen voor de mate waarin de seismische dreiging en het seismisch risico afnemen bij een vermindering van de gasproductie heeft SodM aan NAM verzocht om ook een productiescenario door te rekenen van 20 miljard Nm^3. Deze hoeveelheid ligt dicht bij de 21 miljard Nm^3 die minimaal nodig is in een warm jaar, onder de aanname dat stikstofinstallaties maximaal worden gebruikt om zoveel mogelijk hoogcalorisch gas naar laagcalorisch gas om te zetten[10].

Meet- en regelprotocol

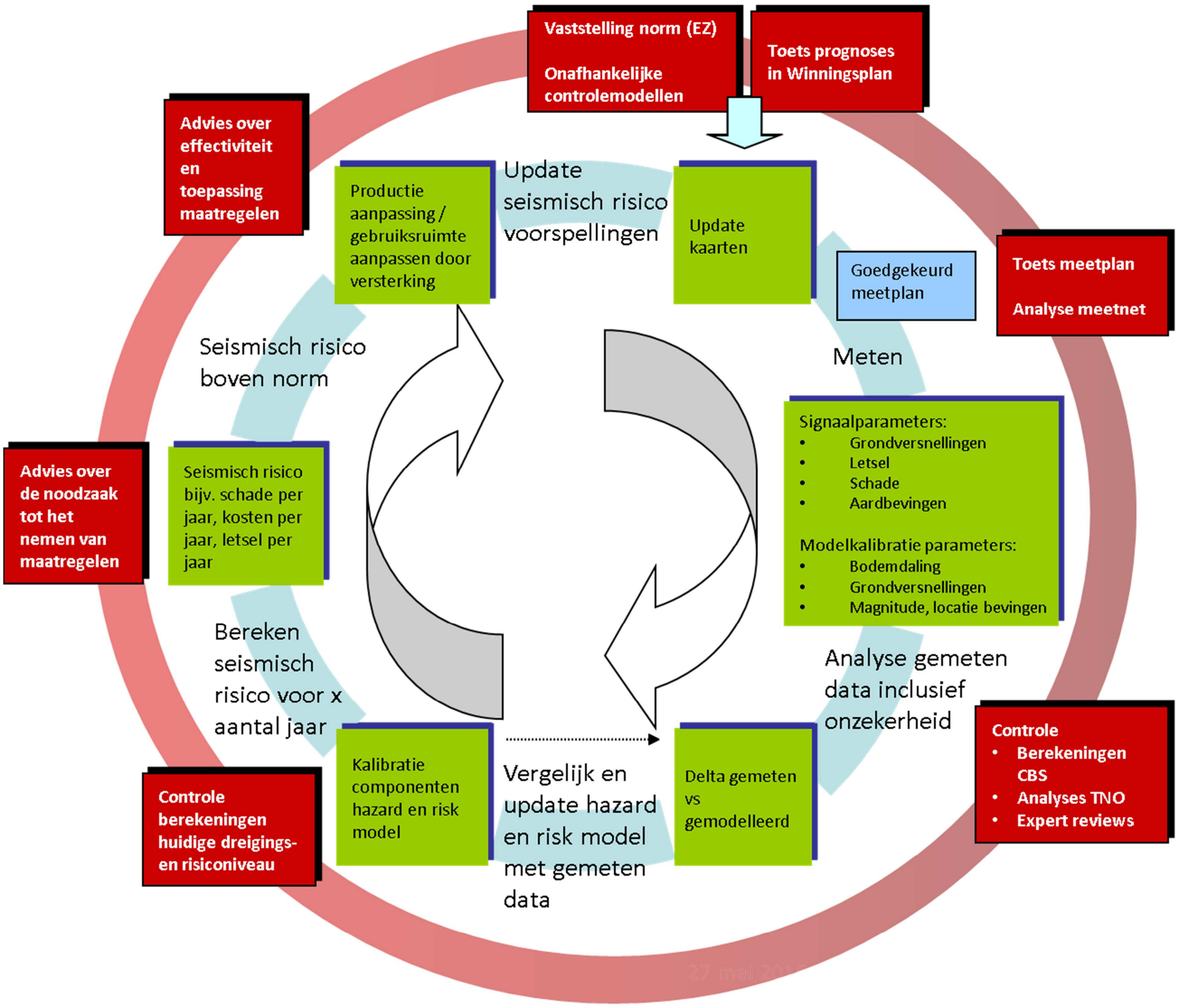
Naast een analyse van het seismisch risico heeft NAM op 1 mei 2015, op grond van artikel 4.1 van het instemmingsbesluit, een **meet- en regelprotocol** ingediend bij de Inspecteur-Generaal der Mijnen. Dit protocol bevat een methodiek waarmee – vooruitlopend op de normstelling ten aanzien van het risicobeleid voor geïnduceerde aardbevingen - periodiek en per regio gedifferentieerd de toename van het seismisch risico zo veel mogelijk wordt geminimaliseerd. Over dit protocol moet SodM – op grond van het instemmingsbesluit winningsplan Groningenveld - een standpunt innemen. De beoordeling van het meet- en regelprotocol maakt geen onderdeel uit van dit rapport.

---

[8] Zie Kamerstuk 33529, nr. 96, p.12. Uit dit Kamerstuk kan worden afgeleid dat 33 miljard Nm^3 een jaarproductie is zonder rekening te houden met een reserve van 2 miljard Nm^3 voor technische eventualiteiten. Als wel met deze reserve rekening zou worden gehouden, dan komt het jaartotaal op 33 + 2 = 35 miljard Nm^3.

[9] Over alle huizentypen binnen gebieden van 3 x 3 kilometer.

[10] Zie Kamerstuk 33529, nr. 97. Het gaat dan om een warm jaar bij een Wobbe index van 53 MJ/m^3. In een koud jaar met een Wobbe index van 54 MJ/m^3 is nog 35 miljard m^3 gas uit het Groningenveld nodig.



Figuur 1: Meet-en Regelcyclus voor het beheersen van het seismisch risico in het Groningengasveld. De binnenste cyclus (groen/blauw) geeft de activiteiten van de operator weer; de buitenste rode cyclus geeft weer hoe het toezicht op het systeem wordt vormgegeven.

Het meet- en regelprotocol en de - in het kader hiervan - door NAM ingediende rapportages vormen het risicobeheerssysteem waar SodM zijn toezicht op richt. In figuur 1 is de beheerscyclus weergegeven met daaromheen (in de rode cyclus) aangegeven hoe het toezicht op het systeem wordt ingericht. De essentie van het systeem is het halfjaarlijks kalibreren van de hazard- en risicomodellen op basis van de metingen en de nieuwste inzichten om vervolgens het actuele risiconiveau te bepalen en dat voor de komende jaren. Toetsing aan een norm vindt vervolgens plaats en indien het risico de norm overschrijdt (of dreigt te overschrijden) moeten er maatregelen worden genomen om het risico terug te brengen en/of te voorkomen dat het risico de norm op termijn zal overschrijden. De halfjaarlijkse rapportage over de monitoringsresultaten, de prognoses voor het risico en de in het kader van het doorlopen van

deze cyclus eventueel te nemen maatregelen worden door SodM beoordeeld en – als daar aanleiding toe is - verwerkt in een advies aan de Minister van Economische Zaken.

De mei 2015 rapportage van NAM over het seismisch risico moet gezien worden als een onderdeel van de risicobeheercyclus.

Monitoringsrapportage
Dit rapport van SodM gaat niet alleen over de veiligheid (het seismisch risico), maar ook over het verloop van de seismiciteit in het Groningenveld. Hiermee voldoet SodM aan de vraag van de Minister van Economische Zaken om elk halfjaar – op basis van door NAM aangeleverde analyses - een monitoringsrapportage op te stellen, eventueel aangevuld met een nader advies[11]. SodM heeft de onderhavige rapportage opgesteld aan de hand van rapporten die NAM op 1 mei 2015 bij SodM heeft ingediend.

De monitoringsrapportage behoort, evenals de rapportage over het seismisch risico, bij het doorlopen van de meet- en regelcyclus. Als onderdeel van de toezichtcyclus (figuur 1) en in het belang van veiligheid heeft SodM de monitoringsresultaten van NAM en de analyse daarvan onafhankelijk laten doorrekenen door TNO, KNMI, TU Delft en CBS. Tevens heeft SodM enkele aardbevingsdeskundigen uit binnen- en buitenland geraadpleegd.

Veiligheidsnormen
Er is nog geen definitieve norm vastgesteld voor het omgaan met risico's van geïnduceerde aardbevingen. SodM heeft voor het samenstellen van dit rapport gebruik gemaakt van het voorstel voor een norm van de Stuurgroep NPR [17]. Het is SodM bekend dat de specifieke risiconormen voor geïnduceerde aardbevingen nog in ontwikkeling zijn[12].

[11] Zie Kamerstuk 33529, nr.91 en nr.96.

[12] De commissie "Omgaan met risico´s van geïnduceerde aardbevingen" zal hierover medio juni 2015 een eerste advies uitbrengen.

3. Werkwijze SodM

Om tot een goed onderbouwd rapport te komen heeft SodM de volgende werkwijze gevolgd.

3.1 Afbakening van de vragen

SodM heeft zich in dit rapport gericht op beantwoording van drie vragen:

a. Welke conclusies kunnen er worden getrokken uit de monitoring van de seismiciteit in de afgelopen jaren?
b. Geeft de risicoanalyse van NAM een betrouwbaar beeld van het verschil in het seismisch risico bij een jaarproductie van 39,4 respectievelijk 33 miljard Nm^3 voor de jaren 2015 en 2016?
c. Hoe kan de gasproductie van het Groningenveld zodanig worden ingericht dat er binnen de veiligheidsnormen wordt geproduceerd?

Het antwoord op de eerste vraag is belangrijk, omdat het duidelijk maakt of productiemaatregelen invloed hebben op de seismiciteit. Het antwoord op de tweede vraag is van belang voor de Minister van Economische Zaken om een besluit te kunnen nemen over het resterende productieniveau in 2015. Het antwoord op de derde vraag is van belang voor de burgers van de provincie Groningen en voor SodM vanuit haar rol als toezichthouder.

Om de derde vraag goed te kunnen beantwoorden moet er een geaccepteerde risiconorm voor geïnduceerde aardbevingen beschikbaar zijn. Die norm is er echter (nog) niet. Er ligt wel een rapport van de Stuurgroep NPR, waarin een voorstel voor een norm is opgenomen [17]. Dit voorstel heeft SodM als uitgangspunt genomen.

SodM heeft NAM gevraagd om niet alleen een risicoanalyse te maken bij een jaarproductie van 39,4 en 33 miljard Nm^3, maar ook van 20 miljard Nm^3, een hoeveelheid die dicht ligt bij de 21 miljard Nm^3 die minimaal nodig is in een warm jaar[13]. SodM heeft de 20 miljard Nm^3 analyse gebruikt om de resultaten van het onderzoek van TNO (zie §3.3) te kalibreren.

3.2 Volgen van de onderzoeken

SodM acht het van groot belang om de voortgang van de onderzoeken van NAM op de voet te volgen. Om die reden nemen SodM deskundigen van de dienst als observator deel aan een speciaal ingestelde klankbordgroep van onafhankelijke experts. Deze klankbordgroep – de *Scientific Advisory Committee* (SAC) - is ingesteld door het Ministerie van Economische Zaken om de wetenschappelijke onderzoeken van NAM te begeleiden. Door als observator deel te

[13] onder de aanname dat stikstofinstallaties maximaal worden gebruikt om zoveel mogelijk hoogcalorisch gas naar laagcalorisch gas om te zetten. Zie Kamerstuk 33529, nr.97.

nemen aan deze klankbordgroep krijgt SodM inzicht in het werk dat NAM uitvoert en kan SodM kennis nemen van de commentaren van experts op dit werk.

3.3 Toetsing kritische onderdelen

Naast het volgen van de onderzoeken van NAM heeft SodM onafhankelijke controleberekeningen laten uitvoeren. SodM achtte dit nodig, omdat de rekenmodellen waarmee NAM werkt complex van aard zijn, waardoor de uitkomsten niet eenvoudig kunnen worden getoetst. SodM heeft hierbij TNO en KNMI ingeschakeld en hen gevraagd om een bijdrage te leveren aan een onafhankelijke toetsing van de kritische onderdelen van NAM´s risicoanalyses. KNMI heeft hiervoor verschillende scenario´s uitgewerkt voor de seismische dreiging. De kaarten die hieruit resulteerden zijn gelegd over het gebouwenbestand dat het bureau ARUP in opdracht van NAM heeft gemaakt. Vervolgens zijn de uitkomsten door TNO omgezet in tabellen waaruit voor verschillende risiconiveaus kan worden afgeleid hoeveel woningen versterkt zouden moeten worden. Het beeld dat hieruit naar voren kwam is door SodM en TNO vergeleken met de uitkomsten van NAM, die op een andere manier tot stand waren gekomen (een geïntegreerd rekenmodel). In paragraaf 6 wordt daar nader op in gegaan.

SodM heeft het CBS en TNO verzocht om controleberekeningen uit te voeren op trends en correlaties in de seismische activiteit. Aan het CBS en de TU Delft heeft SodM opdracht gegeven om enkele controleberekeningen te doen op geodetisch gebied (GPS en InSAR). De resultaten van deze analyses heeft SodM vergeleken met de monitoringsrapportages van NAM.

3.4 Verwachtingenbrief

SodM heeft NAM op 31 maart 2015 in een "verwachtingenbrief" zo gedetailleerd mogelijk aangegeven hoe de dienst de voorwaarden van het instemmingsbesluit inzake het winningsplan Groningenveld interpreteerde en wat de dienst van NAM verwachtte op (uiterlijk) 1 mei 2015.

NAM heeft op deze brief gereageerd op 14 april 2015. In deze brief gaf NAM aan, dat NAM in de verwachtingen van SodM ten aanzien van het seismisch risico voor de verschillende gebieden boven het Groningenveld zou voorzien, met de notie dat het product "de alsdan best technisch en wetenschappelijk beschikbare kennis zal geven (met het besef dat de studies voortschrijdend blijven richting het winningsplan 2016)."

3.5 Verificatie documenten

Op 1 mei 2015 heeft NAM rapporten ingediend bij SodM over de seismische dreiging, het seismisch risico, de analyse van seismiciteit en het meet- en regelprotocol. Daarna heeft SodM een verificatieproces doorlopen, dat als volgt is verlopen:

- 1 mei 2015 verificatie SodM ingediende documenten NAM
- 8 mei 2015 verificatietabel bij NAM ingediend
- 26 mei 2015 ontvangst 1e aanvullende documentatie NAM
- 28 mei 2015 ontvangst 2e aanvullende documentatie NAM
- 1 juni 2015 ontvangst reactie NAM op verificatietabel
- 12 juni 2015 ontvangst aanvullende kaarten.

4. Eerdere adviezen SodM

4.1 Drie adviezen

SodM heeft tot nu toe drie adviezen uitgebracht over de aardbevingen in Groningen: in januari 2013, in januari 2014 en in december 2014. Het is SodM gebleken, dat het naast elkaar leggen van de drie adviezen, zonder de context in acht te nemen, kan leiden tot misverstanden. Elk advies is geschreven met een ander doel en in een andere context. In paragraaf 4 wordt de essentie ("de rode draad") van de drie adviezen van SodM samengevat.

Het eerste advies werd uitgebracht op een moment (januari 2013) dat er nog maar een beperkte kennis was over de precieze oorzaken van de concentratie van de aardbevingen rond Loppersum. Ook was er verhoudingsgewijs nog weinig bekend over grondversnellingen en schade aan gebouwen. SodM wilde met dit advies de Minister van Economische Zaken informeren over de gewijzigde inzichten in de aardbevingsgevoeligheid van het Groningenveld en welke maatregelen er getroffen zouden kunnen worden om het risico op meer en zwaardere aardbevingen terug te brengen.

Het tweede advies (januari 2014) ging specifiek over het gewijzigde winningsplan. Toen het advies uitkwam was er al beduidend meer kennis over de oorzaak van de aardbevingen vergaard.

Het derde advies ging specifiek over een vraag van de Minister van Economische Zaken over seismiciteit rond het Eemskanaal cluster. In dit advies konden al wel ook de eerste voorlopige conclusies worden getrokken over de gevolgen van het terugbrengen van de gaswinning rond Loppersum.

4.2 Januari 2013: eerste advies – nieuwe inzichten

Na de aardbeving(en) bij Huizinge in augustus 2012 voerde SodM een analyse uit van de aardbevingen in Groningen, zowel van het aantal als de sterkte. Daarbij kwam SodM tot de conclusie dat een onverminderde hoge gasproductie uit het Groningse gasveld zou kunnen leiden tot sterkere aardbevingen dan tot medio 2012 werd aangenomen. Daarmee zou ook het seismisch risico hoger zijn dan eerder werd gedacht. Daarom verzocht SodM aan NAM om een nieuw winningsplan voor het Groningenveld op te stellen.

Indicatieve berekeningen van SodM brachten aan het licht, dat een vermindering van de productie zou leiden tot vergelijkbare vermindering van het aantal aardbevingen en daarmee ook tot een kleinere kans op zwaardere aardbevingen. SodM noemde hierbij een **voorbeeld**: een 40% gasproductievermindering van 50 naar 30 miljard m^3 per jaar zal leiden tot 40% minder verwachte aardbevingen per jaar en een navenante reductie in de kans op een aardbeving groter dan 3,9.

Bij het advies was een analyse van SodM gevoegd waarin getracht werd een wiskundige relatie te vinden tussen het jaarlijkse productieniveau en het aantal aardbevingen met een bepaalde sterkte. De uitkomst van deze "speculatieve" relatie was dat er een verlaging van de productie nodig zou zijn tot ca. 12 miljard Nm^3 per jaar om het aantal voelbare aardbevingen (sterkte meer dan 1,5) tot vrijwel nul terug te brengen.

Op grond van de eerste indicatieve berekeningen adviseerde SodM aan de Minister van Economische Zaken om aan NAM voor te schrijven de gasproductie uit het Groningse gasveld zo snel mogelijk en zo veel als mogelijk en realistisch is, terug te brengen[14]. SodM verwachtte, op grond van de kennis op dat moment, dat het terugbrengen van de productie na 1 à 1½ jaar effect zou sorteren.

4.3 Januari 2014: tweede advies - winningsplan

Op 13 januari 2014 heeft SodM aan de Minister van Economische Zaken advies uitgebracht over het winningsplan 2013 van NAM[15]. SodM vond de belangrijkste pijlers waarop het winningsplan rustte niet solide. Naar de mening van SodM had NAM het veiligheidsrisico niet goed beoordeeld. Bovendien concludeerde SodM dat NAM geen maatregelen nam om de seismische activiteit terug te brengen. Daarom adviseerde SodM om niet in te stemmen met het nieuwe winningsplan en op zo kort mogelijke termijn de gasproductie te stoppen in het gebied met het hoogste aardbevingsrisico, dat wil zeggen het gebied rond Loppersum. SodM wees vijf productielocaties (clusters) aan waar de productie gestaakt zou moeten worden. Het zou dan in eerste instantie gaan om sluiting voor een periode van ten minste drie jaar, omdat de effecten over een langere periode dan drie jaar niet te voorspellen zijn. In de visie van SodM zou die periode van tenminste drie jaar benut kunnen worden om het uitvoeren van preventieve (versterkings)maatregelen voortvarend ter hand te nemen en gedetailleerde metingen en vervolgonderzoek te verrichten. Daarnaast drong SodM aan op het ontwikkelen van een landelijk risicobeleid voor grotere veiligheidsrisico's, zoals risico's door geïnduceerde aardbevingen, en daarvoor acceptatiecriteria vast te stellen[16].

4.4 December 2014: derde advies – Eemskanaal

Op 11 december 2014 heeft SodM aan de Minister van Economische Zaken advies uitgebracht over een analyse van NAM over de bevingsgevoeligheid van het gebied rond de winningslocatie "Eemskanaal" nabij de stad Groningen[17]. SodM kwam tot de conclusie dat op basis van rekenmodel van NAM het effect van eventuele productiemaatregelen niet is vast te stellen en die

[14] Brief SodM van 22 januari 2013, kenmerk 13010015.
[15] SodM, Advies Winningsplan 2013/Meet- en Monitoringsplan NAM, Groningen gasveld, januari 2014.
[16] Brief SodM van 13 januari 2014, kenmerk 14005929.
[17] Brief SodM van 11 december 2014, kenmerk 14204137, met bijlage het "Advies Bevingsgevoeligheid van de Eemskanaal regio, december 2014".

maatregelen dus ook niet te rechtvaardigen zijn. Bij validatie van het model kwam SodM, op grond van waarnemingen van de daadwerkelijke ontwikkeling van seismische activiteit, wel tot de conclusie dat er een verband lijkt te bestaan tussen een toe- of afname van de productie en toe- of afname van de seismische activiteit in een regio. Op basis daarvan heeft SodM geadviseerd om het eerder vastgestelde productieplafond voor het Groningenveld als geheel te laten zakken van 42,5 naar 39,4 miljard Nm^3 per jaar en productieplafonds voor de onderscheiden regio's in te stellen, waaronder de regio Eemskanaal 2 miljard Nm^3 per jaar.

Voorbehoud
Gelet op de context waarbinnen het advies van SodM werd gevraagd (bevingsgevoeligheid bij de cluster Eemskanaal), de relatief korte observatietijd sinds de productieafname bij Loppersum, de voorzichtige conclusies van het CBS en het ontbreken van veiligheidsnormen voor geïnduceerde aardbevingen, zag SodM onvoldoende onderbouwing om een ingrijpende herziening van het productiepatroon van het Groningenveld te adviseren. SodM heeft dit in zijn advies aangegeven.
In het advies vermeldt SodM dat de Praktijkrichtlijn voor aardbevingsbelasting van gebouwen niet in het advies kon worden betrokken, omdat de richtlijn nog in de maak was. In het advies werd dan ook aangegeven dat SodM niet kon zeggen of met de voorgestelde maatregelen werd voldaan aan de normen voor een acceptabel risiconiveau.

4.5 Rode draad in adviezen SodM

De drie adviezen die SodM vanaf januari 2013 heeft uitgebracht over de aardbevingsproblematiek in Groningen zijn alle drie geschreven met een ander doel en vanuit een andere context. Daardoor verschilt de inhoud, maar de strekking is consistent.

De rode draad in de adviezen van SodM kan als volgt worden samengevat:
- pak het aardbevingsprobleem niet alleen aan door het aardbevingsbestendig maken van gebouwen (en dijken, viaducten, etc.), maar pak ook de bron aan: de gasproductie;
- doe dat op een slimme en effectieve manier;
- breng de productie en de verdeling daarvan over het gasveld in overeenstemming met een veiligheidsniveau dat acceptabel wordt geacht.

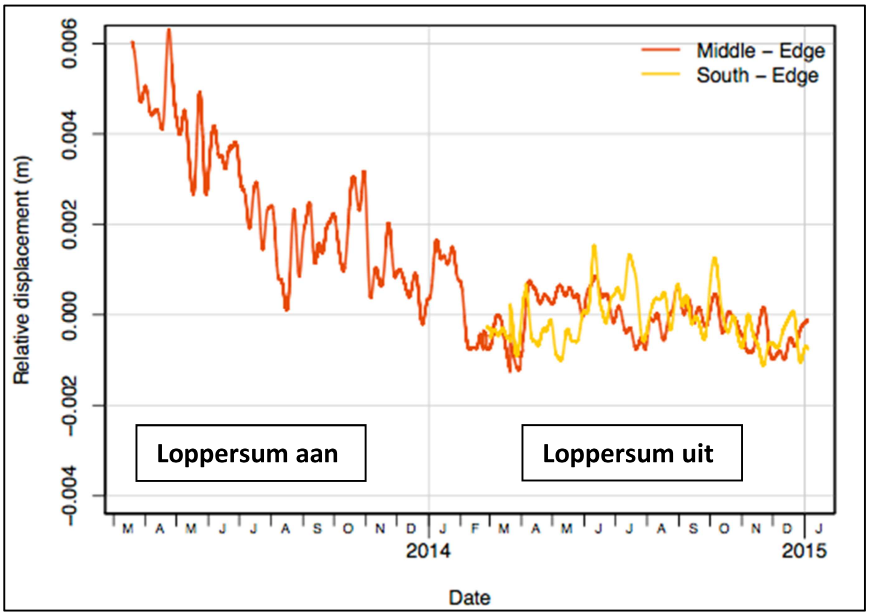
Reikwijdte adviezen SodM
SodM houdt toezicht op de veiligheid aan de hand van veiligheidnormen, maar bepaalt die normen niet zelf. De vraag welk risiconiveau acceptabel is vergt een bestuurlijke afweging, waarbij behalve het risiconiveau ook de maatschappelijke context, zoals het belang dat is gemoeid met voortzetting van de risicovolle activiteit en de risicoperceptie van de bevolking, moet worden betrokken.
SodM ziet erop toe dat er op een doelmatige en veilige manier gas wordt gewonnen, maar is niet in een positie om alle belangen rond de gaswinning in Groningen af te wegen. Immers, SodM gaat niet over het Nederlandse gasbeleid en kan niet bepalen hoeveel gas er (realistisch) nodig is voor de gasvoorziening van Nederland en de contracten die er met buitenlandse partijen zijn aangegaan.

5. Monitoring van bodembewegingen

5.1 Analyses van monitoringresultaten

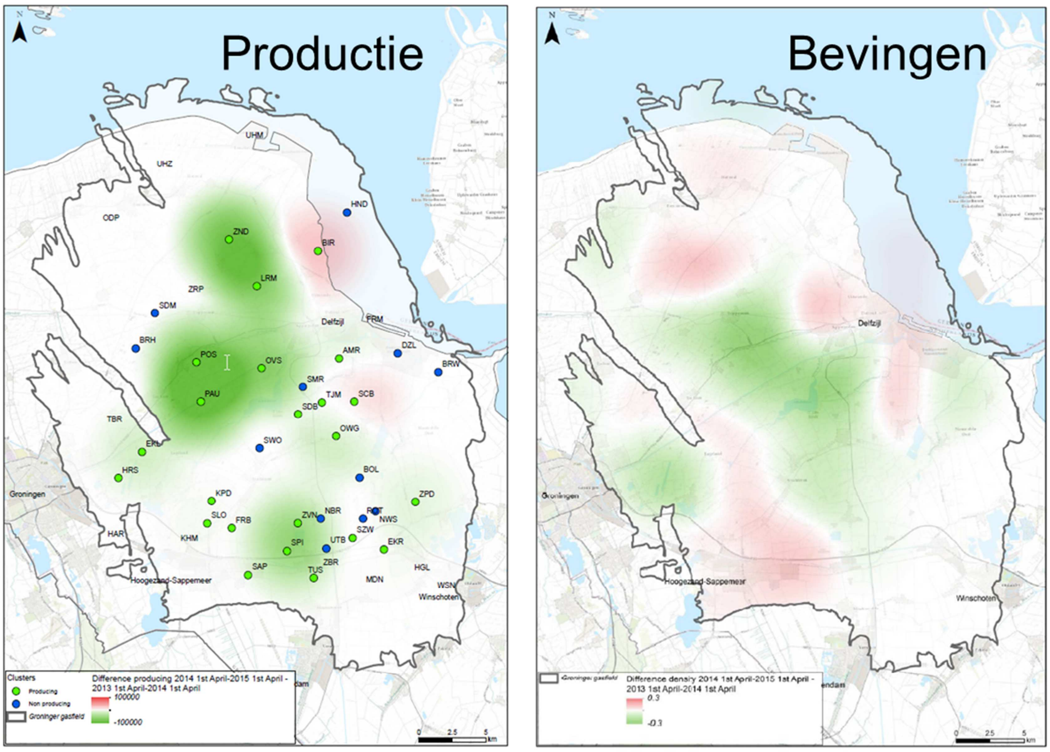
Voor de beoordeling van de monitoringsresultaten heeft SodM gebruik gemaakt van rapporten die in de bijgevoegde lijst van "geraadpleegde rapporten" worden opgesomd. De nummers in onderstaande tekst verwijzen naar deze lijst.

Uit de analyse van de monitoring van zowel de bodemdalingsnelheid [12,15] als de seismiciteit [8,9,11,13] komt een consistent beeld naar voren. Beide reageren op veranderingen in de productiesnelheid van het Groningenveld. Ook geven de diverse onderzoeken een reactietijd in de orde van enkele maanden aan [8,11]. Dat wordt voor de bodemdaling geïllustreerd door Figuur 2 [12].



Figuur 2. Periode maart 2013 – december 2014. Trendbreuk in GPS analyse voor het verschil in bodemdaling tussen het centrum en de rand van het Groningen gasveld. [bron: 12]. Toelichting: zie de tekst hieronder

Deze grafiek laat het verschil zien in de hoogtemetingen tussen GPS stations in het midden van het Groningenveld (rond Loppersum) en GPS stations aan de rand van het gasveld. Lange tijd daalde de bodem rond Loppersum harder dan aan de rand van het veld. Dat komt tot uitdrukking in het verloop van de grafiek (de linkerkant van de grafiek). In 2014 liep de bodemdaling in het centrum steeds meer terug en werd de daling vergelijkbaar met de daling aan de rand van het gasveld (rechterkant van de grafiek). Daarmee illustreert de grafiek de afname van de bodemdalingssnelheid in het centrum van het gasveld.



Figuur 3: Verandering van de productie (links) en de aardbevingsdichtheid (rechts) tussen de periode april 2014 – april 2015 en de periode april 2013 – april 2014 [bron TNO].

Indicaties voor de gevoeligheid van de seismiciteit voor de productiesnelheid worden door NAM gerapporteerd in [8] en [9]. In studie [8] concludeert NAM dat seizoeneffecten in de productie duidelijk te zien zijn bij bevingen met een sterkte (M) van M<1,25. Voor bevingen met een sterkte M>1,5 is dat minder duidelijk te zien, maar zijn er wel indicaties. TNO heeft de effecten van seizoenvariaties in de gasproductie en het aantal bevingen geanalyseerd op basis van autocorrelatie. Voor zowel de productie als het aantal bevingen is er een duidelijk statistisch significant seizoeneffect vast te stellen. Onderlinge correlatie van beide effecten laat een vertraging zien van enkele maanden in de variatie van het aantal bevingen ten opzichte van de productievariatie. Dit duidt op een mogelijk negatief effect van een niet-gelijkmatig productie op de seismische activiteit. Het is nodig om over een goed inzicht te beschikken in de effecten van productiefluctuaties alvorens tot een niet-gelijkmatige productie over te gaan. Hiervoor is nader onderzoek noodzakelijk.

Zowel NAM als TNO stellen vast dat hoge seismische activiteit correleert met hoge productie met een vertraging van enkele maanden [8,11]. Tenslotte stelt NAM dat een trendbreuk in de tijd tussen opeenvolgende bevingen niet zichtbaar is voor de deelverzameling van bevingen met een sterkte van M>1,5, maar wel duidelijk zichtbaar is in de totale seismische dataset (alle bevingen en alle magnitudes) [9].

Het optreden van een trendbreuk in de seismiciteit na de productie ingreep in januari 2014 is ook goed zichtbaar in de door TNO berekende aardbevingsdichtheidkaarten [11]. Met name de aardbevingsdichtheidverschilkaart in
Figuur 3 laat goed zien dat de bevingsdichtheid in het centrum van het veld is afgenomen.

Een verklaring op basis van statistisch toeval wordt steeds onwaarschijnlijker. De CBS analyses geven inmiddels aan dat een reële daling van de seismiciteit (enkele maanden) na januari 2014 het meest waarschijnlijk is op een betrouwbaarheidsniveau van 99% [13]. TNO komt op basis van andere statistische analyses tot vergelijkbare conclusies [11]. Beide studies geven aan dat er vrijwel zeker een einde is gekomen aan de aanhoudende exponentiële stijging van het aantal bevingen in het centrum van het veld voorafgaand aan de productie-ingreep van januari 2014 (80% reductie van de productie rond Loppersum).

Het KNMI heeft op verzoek van SodM een beoordeling ("review") uitgevoerd van de monitoringsrapporten van NAM [6, 7, 8]. In deze review [14] onderschrijft KNMI de door NAM gebruikte technieken, maar doet geen uitspraken over de conclusies van NAM.

5.2 Conclusies monitoring

Op basis van bovenstaande analyses van monitoringresultaten concludeert SodM:

- Het verlagen van de gasproductie leidt tot minder seismiciteit en daarmee tot een lager seismisch risico. SodM acht dit nu afdoende overtuigend aangetoond op basis van aanvullend wetenschappelijk onderzoek door NAM, TNO en CBS sinds het SodM advies van december 2014.
- Veranderingen in de gasproductie uit het Groningenveld hebben invloed op het aantal aardbevingen en daarmee op de kans op sterke aardbevingen[18]. De tijdsduur tussen veranderingen in de productie en veranderingen in de seismische activiteit ligt in de orde van 3 à 4 maanden. Dat is korter dan de 1 à 1½ jaar die eerder werd aangenomen. De seismische activiteit in het Groningen gasveld reageert dus sneller dan gedacht op ingrepen in de productie.
- De maatregel om de gasproductie rond Loppersum sterk terug te brengen heeft een gunstige uitwerking op de seismische activiteit in die regio.
- Het is op dit moment voor SodM niet voldoende duidelijk in welke mate een niet-gelijkmatige productie effect heeft op de seismiciteit. Hiervoor is nader onderzoek nodig.

[18] Onder "sterke" aardbevingen verstaat SodM aardbevingen met een kracht van meer dan 3 op de schaal van Richter.

6. Seismische dreiging en seismisch risico

6.1 Algemeen

Bij het samenstellen van deze paragraaf is gebruik gemaakt van de rapporten die in bijgaande lijst met "geraadpleegde rapporten" worden opgesomd.

NAM heeft nieuwe berekeningen gemaakt van de **seismische dreiging** voor zowel de periode 1 januari 2015 tot 1 januari 2017 (2 jaar) als de periode 1 juli 2016 tot 1 juli 2021 (5 jaar). Deze berekeningen zijn uitgevoerd met verschillende productiescenario´s: 45, 39,4 en 33 miljard Nm^3 per jaar. Voor deze tweede periode (1 juli 2016 tot 1 juli 2021) is op verzoek van SodM een scenario toegevoegd van 20 miljard Nm^3 per jaar. Tevens zijn voor deze periode berekeningen gemaakt van het **seismisch risico**.

De berekeningen zijn gebaseerd op de nieuwste, meest recente inzichten:

- De compactie, die in het nieuwste seismologische model wordt gebruikt, is direct afgeleid uit de geobserveerde bodemdaling, waardoor de eerdere problemen in de geologische en dynamische ondergrond modellen worden vermeden [1,3].
- Het seismologische model is gekalibreerd aan het nieuwe compactiemodel en verder doorontwikkeld. In het verbeterde model wordt het optreden van bevingen niet alleen aan de totale compactie gerelateerd, maar ook aan het product van breukdichtheid en breukverzet [1,3].
- De "ground motion prediction equation" (GMPE), die de beweging bij de bron van de beving vertaalt in de beweging aan het aardoppervlak, is opnieuw gekalibreerd aan de waarnemingen, waarvan er inmiddels aanzienlijk meer beschikbaar zijn [1,3].
- De kwetsbaarheid van de bebouwing in Groningen voor grondbewegingen is verder onderzocht en gemodelleerd en de resultaten zijn verwerkt in verbeterde kwetsbaarheidscurves voor verschillende gebouwentypen [2,4].
- De kans op overlijden is gerelateerd aan de mate waarin een huis instort en ook de onzekerheid in deze kans is meegenomen [2,4].

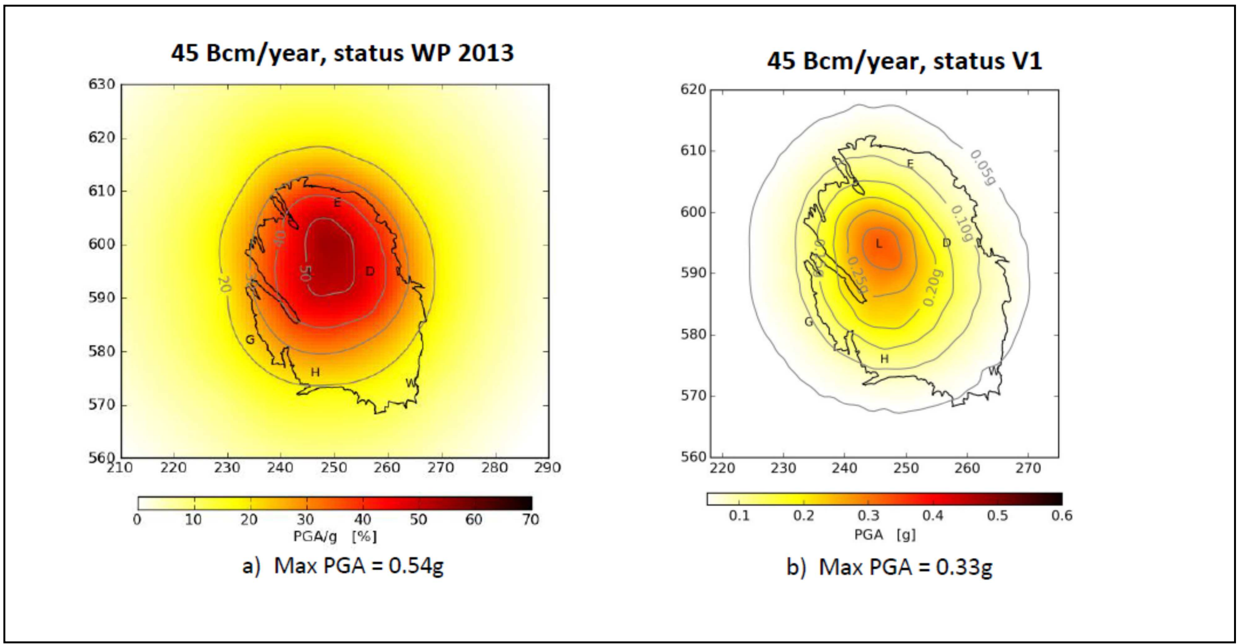
Deze verbeteringen leiden tot nieuwe uitkomsten voor zowel de seismische dreiging als het seismisch risico. Deze uitkomsten heeft SodM beoordeeld. In de volgende paragrafen wordt daar nader op ingegaan.

6.2 Seismische dreiging

6.2.1 Seismische dreiging volgens winningsplan (2013 – 2018)

De nieuwe berekeningen leiden voor het productiescenario uit het winningsplan Groningen 2013 voor de jaren 2014-2015-2016 tot een lagere verwachtingswaarde[19] voor de seismische dreiging

[19] De beste schatting op basis van alle onzekerheden, waarbij verschillende scenario's gewogen op basis van de ingeschatte kans dat deze optreden, worden meegenomen.

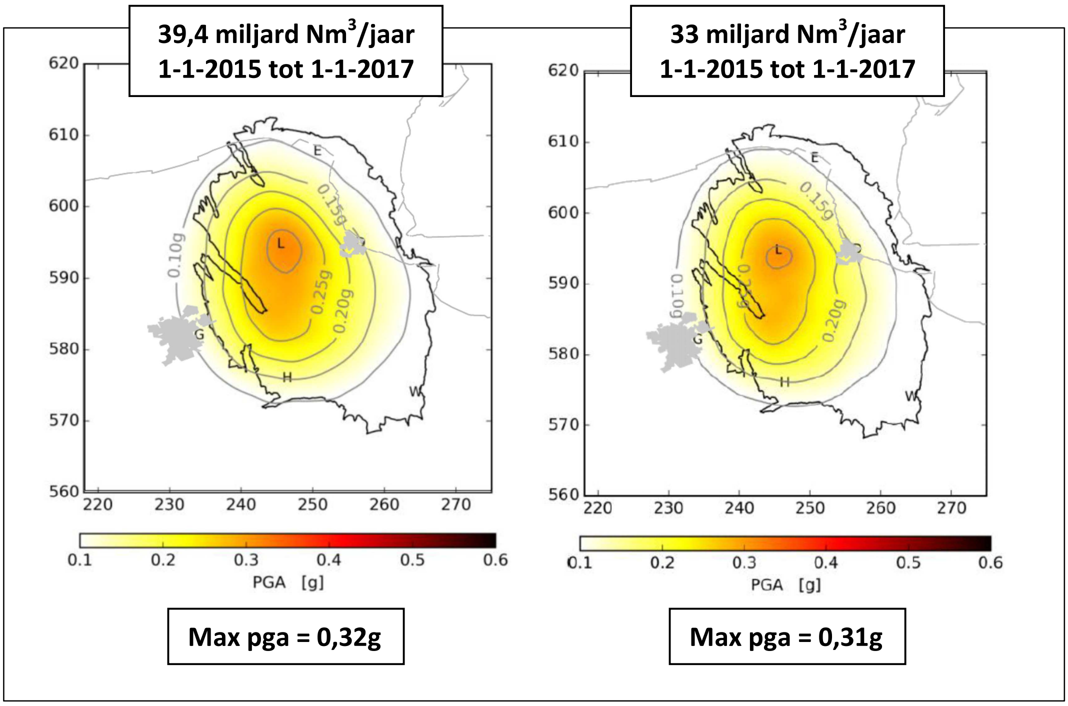


Figuur 4. De verwachtingswaarde voor de seismische dreiging voor het winningsplan scenario (45 miljard Nm^3/jaar) bij een overschrijdingskans van 0,2% per jaar. Links: volgens de inzichten in 2013 [figuur 8.7a uit 18]. Rechts: met de inzichten anno 2015 [20].

dan in het winningsplan werd weergegeven: de maximale piekgrondversnelling gaat bij het productieniveau van 45 miljard Nm^3 per jaar van 0,54g (winningsplan) naar 0,33g (huidige berekeningen). Figuur 4 laat de ruimtelijke verdeling van de beide berekeningen zien. Dit is te danken aan de nieuwe inzichten die in de rekenmodellen zijn verwerkt. Daarbij is het centrum van de seismische dreiging enigszins opgeschoven naar het zuidwesten, dichter naar de stad Groningen.

6.2.2 Seismische dreiging 2015 en 2016

Door verlaging van het productieplafond van 42,5 naar 39,4 miljard Nm^3 per jaar en door een sterke reductie van de productie in het centrum van het veld, overeenkomstig het instemmingsbesluit [19], is de berekende verwachtingswaarde voor de seismische dreiging voor de jaren 2015 en 2016 verder afgenomen [1,3] tot een maximale piekgrondversnelling van 0,32g. NAM heeft tevens een productiescenario doorgerekend van 33 miljard Nm3. Dat leidt voor de jaren 2015 en 2016 tot een maximale piekgrondversnelling van 0,31g (zie Figuur 5).



Figuur 5. De verwachtingswaarde voor de seismische dreiging voor het 39,4 en 33 miljard Nm^3/jaar scenario bij een overschrijdingskans van 0,2% per jaar voor de periode 1-1-2015 tot 1-1-2017 [figuur C1 uit 3].

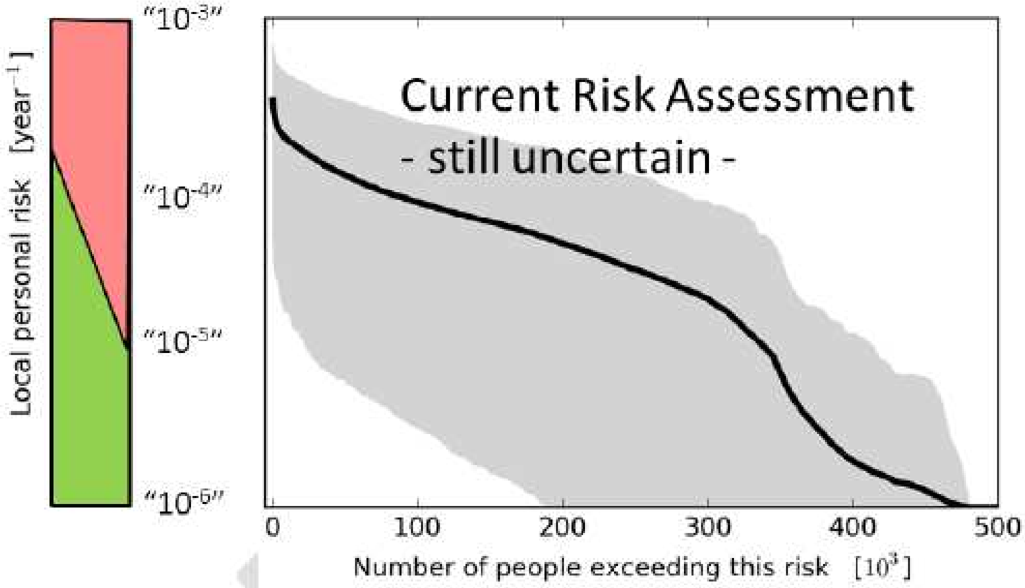
6.3 Seismisch risico

6.3.1 Huidig risiconiveau

De verwachtingswaarde voor het huidige seismisch risiconiveau in Groningen zoals berekend door NAM [2,4] is vergelijkbaar met de uitkomsten van de controleberekeningen van TNO [10] en de Impact Assessment NPR [17]. Voor veel mensen en woningen ligt de berekende verwachtingswaarde voor het lokaal persoonlijk seismisch risico (LPR) boven de 10^{-5}/jaar [2,5,10,17]. Voor aanzienlijke aantallen mensen en woningen (tienduizenden) ligt deze verwachtingswaardeboven de 10^{-4}/jaar [2,4,17]. Dat wordt onder andere geïllustreerd door Figuur 6 [2,4] en Tabel 1 [10]. TNO concludeert dat veel panden met een woonfunctie (vooral in de steden in het randgebied) met hun sterkte in de buurt van het 10^{-4}/jaar criterium liggen. Een kleine verlaging van de sterkte van woningen levert daardoor een significant hoger aantal huizen dat niet voldoet (Tabel 1 [10]).

Onzekerheden

NAM integreert over alle statistische onzekerheden (aleatorische onzekerheden) en analyseert de “onzekerheden door gebrek aan kennis” (epistemische onzekerheden) met behulp van scenario’s. Door de uitkomsten van de verschillende scenario’s gewogen met de kans op optreden te middelen resulteert de beste schatting van het huidige risiconiveau, gegeven de



Figuur 6. Inschatting van het aantal inwoners met een lokaal persoonlijk risico dat de gegeven waarden overschrijdt [figuur 12 uit 2 en 4]. De dikke zwarte lijn geeft de verwachtingswaarde voor het risico, uitgaande van een jaarlijks productieniveau van 39,4 miljard Nm^3 voor de periode 1 juli 2016 tot 1 juli 2021. Dit betekent dat er 50% kans is dat het risico hoger is en 50% kans dat het risico lager is. De grijze zone geeft de bandbreedte van alle meegenomen onzekerheid door gebrek aan kennis (epistemische onzekerheid). De kans dat het risico groter is dan de bovengrens is 0,03%. De kans dat het risico kleiner is dan de ondergrens is 0,02%.

thans beschikbare kennis en metingen: de zwarte curve in Figuur 6. De berekende verwachtingswaarde voor de kans op tenminste één ingestort huis op basis van de geïnduceerde bevingen die tot nu toe hebben plaatsgevonden in Groningen is 60%. Dat lijkt redelijk, gegeven het feit dat zoiets tot nu toe niet is gebeurd.

Bandbreedte

De verschillende onzekerheden in de gegevens die ten grondslag liggen aan de berekening van het seismisch risico zijn groot, zoals in Figuur 6 (grijze zone) en Figuur 7 (high versus low GMPE) tot uitdrukking komt. De grijze zone in Figuur 6 komt overeen met de totale bandbreedte van het Lokaal Persoonlijk Risico (LPR) uit de 73 door NAM doorgerekende scenario's. Naar schatting van SodM komt die grijze zone overeen met een 3 tot 4 sigma onzekerheidsbandbreedte. Dat is buitengewoon conservatief[20]. Het studieprogramma van de NAM is erop gericht om deze onzekerheden in de toekomst te verkleinen.

Oordeel SodM

SodM heeft vastgesteld dat de verwachtingswaarden voor de risiconiveaus op basis van verschillende methodieken zoals berekend door verschillende organisaties (NAM en TNO) redelijk met elkaar in overeenstemming zijn [14], ondanks de verschillende wetenschappelijke benaderingen die deze organisaties hebben gevolgd.

[20] De term "conservatief" wordt hier gebruikt in de betekenis van "pessimistisch", "overdreven voorzichtig".

	Beschrijving scenario’s	Aantal panden met een woonfunctie (inwoners[21]) met een individueel risico (LPR) > 10^{-5}	Aantal panden met een woonfunctie (inwoners) met een individueel risico (LPR) > 10^{-4}	
			ARUP	TNO
Scenario 1	Exponentiële toename bevingen	98 000 (357 000)	37 000 (138 000)	11 000 (42 000)
Scenario 2	Aantal bevingen en locaties zoals waargenomen in 2014	80 000	20 000	0
Scenario 3	Minder bevingen in zuidwest (niveau 2012)	62 000	7 000	0
Scenario 4	Halveer aantal bevingen in zuidwest, oost en achtergrond t.o.v. scenario 3	35 000	1 000	0
Scenario 5	Scenario 2; verdeling magnitudes anders (meer kleine bevingen t.o.v. grote bevingen)	16 000	0	0
Scenario 6	Scenario 3; verdeling magnitudes anders (meer kleine bevingen t.o.v. grote bevingen)	5 000	0	0
Impact Assessment NPR [17]		30 000 – 90 000	35 000	

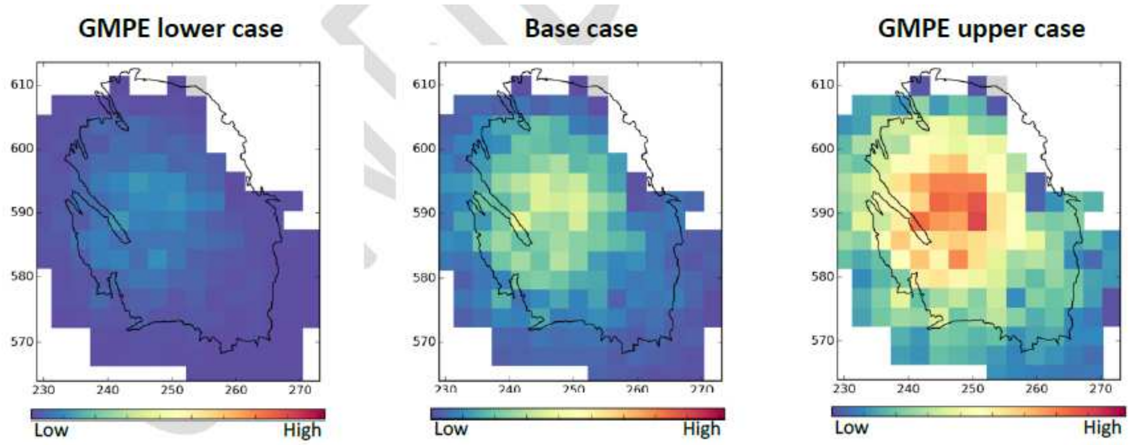
Tabel 1. De resultaten van TNO-rapport [10] voor zes scenario’s waarbij het aantal panden met een woonfunctie met een groter plaatsgebonden individueel risico IR dan 10^{-5} en 10^{-4} (afgerond op duizenden) wordt weergegeven. De getallen tussen haakjes bij scenario 1 geeft een indicatie van het aantal inwoners. De huizen in de ARUP methodiek zijn 20% kwetsbaarder dan de huizen in de TNO berekening [10]. De scenario’s zijn gebaseerd op seismische activiteit en niet gekoppeld aan de productie van het Groningen veld. Tevens zijn de resultaten van de Impact Assessment NPR [17] opgenomen.

Kwetsbaarheid woningen

Het effect van de lagere dreiging op de berekende seismische risico’s lijkt – gegeven het feit dat de risico’s vergelijkbaar zijn met de waarden berekend in [10,17] op basis van een hogere dreiging – beperkt. Dit is mogelijk een gevolg van een verbeterde methode die NAM heeft gebruikt om de gevolgen van de duur en de frequentie van aardbevingen op de stabiliteit van woningen te bepalen. De eerste resultaten van deze methode laten zien dat verschillende typen huizen in Groningen kwetsbaarder zijn dan voorheen gedacht. Echter, om het effect van aardbevingen op deze woningen scherper te kunnen vaststellen moet ook de stijfheid of de slapheid van de bovenste 300 meter van de aardbodem beter bepaald worden.

Het centrum van de seismische dreiging is enigszins opgeschoven naar het zuidwesten, dichter naar de stad Groningen. Dat blijkt uit de berekeningen (zie §6.2.1). Dit kan mogelijk een

[21] De schatting van het aantal inwoners bij scenario 1 is tussen haakjes aangegeven. De schatting is gebaseerd op persoonlijke communicatie met deskundigen van TNO



Figuur 7. Gemiddelde LPR voor regio's van 3x3 km bij een jaarproductie van 39,4 miljard Nm^3 voor drie specifieke scenario's welke meegenomen zijn in de berekening van het lokaal persoonlijk risico voor de periode 1/7/2016-1/7/2021 [figuur 14 uit NAM 2,4].

verhoging van het aantal inwoners c.q. gebouwen, dat een bepaald risiconiveau overschrijdt, tot gevolg hebben. Verdere verfijningen van de berekeningsmethode op basis van aanvullend onderzoek en betere (meer) meetgegevens en bijv. experimenten op metselwerk worden voor eind 2015 verwacht. Daarnaast kan er een effect zijn van het feit dat verlaging van de te verwachten grondversnellingen niet helpt zolang die grondversnellingen boven het niveau blijven dat overeenkomt met een gehanteerde norm.

Risicokaarten

Figuur 7 geeft drie risicokaarten (NAM) voor de periode 1 juli 2016-1 juli 2021 waarin het risico voor drie specifieke scenario's bij 39,4 miljard Nm^3 productie, gemiddeld over alle huizentypen per regio van 3x3 km, wordt weergegeven. Deze scenario's zijn meegewogen in de berekening van de verwachtingswaarde van het risico zoals gegeven in Figuur 6.

6.3.2 Conclusies over het huidige risiconiveau

Op basis van bovenstaande resultaten concludeert SodM:

- Het seismische dreigingsniveau (de grondversnellingen met een jaarlijkse overschrijdingskans van 0,2%) voor de verschillende productiescenario's wordt thans lager ingeschat dan eerder werd gerapporteerd. Het seismisch risico neemt echter nauwelijks af. De oorzaak daarvan is dat de kwetsbaarheid van woningen groter lijkt dan eerder werd aangenomen. Onderzoek hiernaar is nog gaande.
- Het seismisch risico bij een jaarproductie van 39,4 respectievelijk 33 miljard Nm^3 is daardoor nog steeds vergelijkbaar[22] met de uitkomsten van de Impact Assessment

[22] NAM geeft weliswaar geen absolute getallen voor het seismisch risico, maar SodM meent dat er, op basis van onderzoek dat zij door TNO heeft laten uitvoeren, voldoende informatie is om deze uitspraak te kunnen doen.

Nederlandse Praktijk Richtlijn (NPR) van januari 2015, dat wil zeggen dat tienduizenden huizen niet voldoen aan de door de NPR voorgestelde voorlopige norm van 10^{-5}.

- Voor grote aantallen mensen en woningen ligt de verwachtingswaarde voor het Lokaal Persoonlijk seismisch Risico (LPR) boven de 10^{-5}/jaar.

Daarbij merkt SodM op dat:

- De risicoanalyses van NAM gaan over woningen. Bedrijven die vallen onder het Besluit Externe Veiligheid (bijvoorbeeld op het chemiepark Delfzijl) zijn nog niet in berekeningen meegenomen. Ook ontbreekt nog een beschouwing van het groepsrisico.
- De grondslagen en aannames van de berekeningen van seismische risico's kennen nog steeds grote onzekerheden.

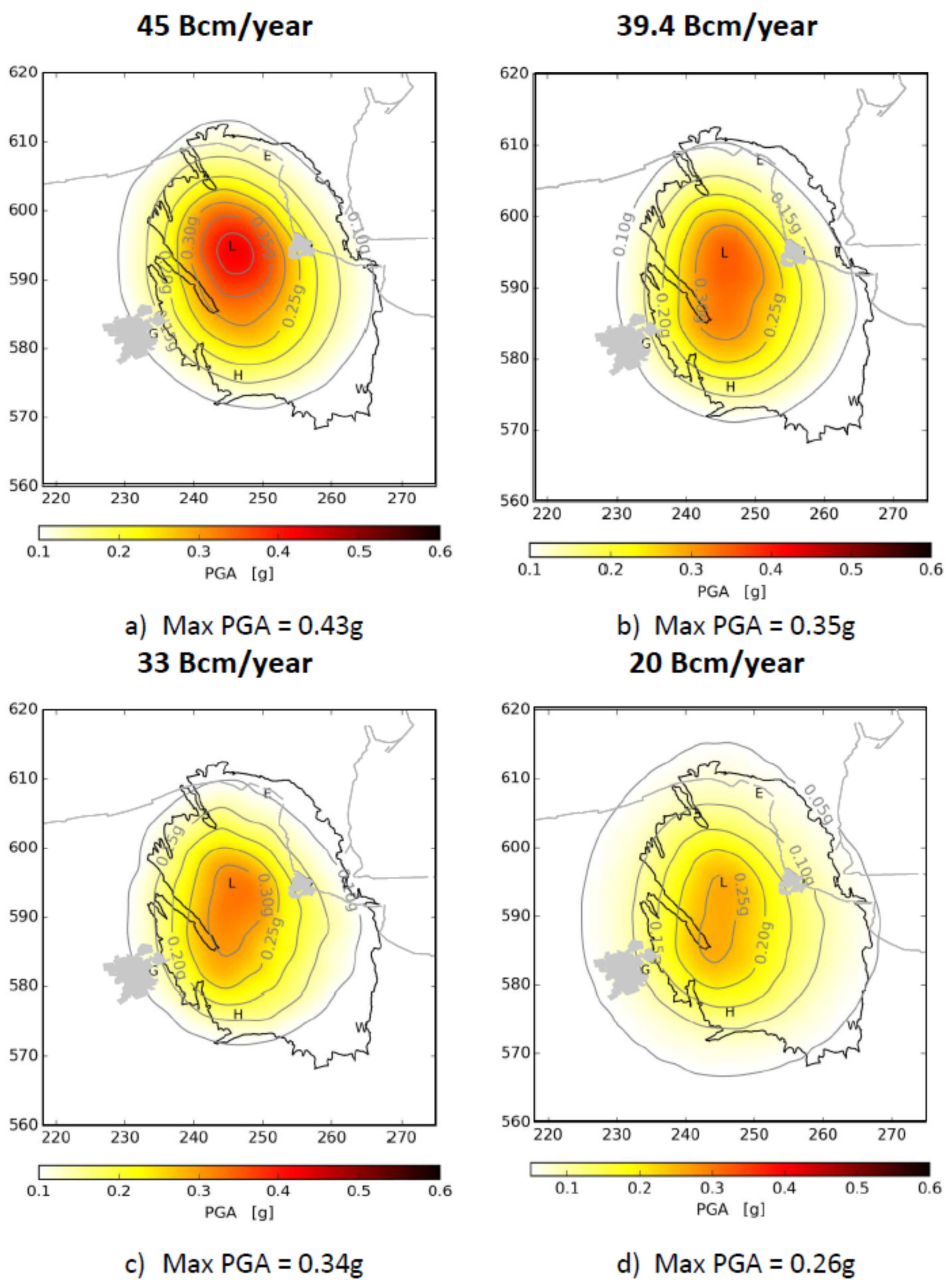
6.4 Invloed verlaging van productie op het risico

6.4.1 Invloed productiemaatregelen op seismische dreiging

In deze paragraaf wordt nader ingegaan op het effect van productiemaatregelen op de seismische dreiging.

NAM heeft de gevolgen van verschillende productiemaatregelen doorgerekend voor een periode van 5 jaar, gerekend vanaf 1 juli 2016. Op verzoek van SodM is daar een productiescenario aan toegevoegd voor 20 miljard Nm^3 per jaar, gerekend vanaf 1 januari 2017. De bedoeling van dit scenario is tweeledig. Enerzijds om de uitkomsten te kalibreren met vergelijkbare berekeningen die TNO op verzoek van SodM heeft gemaakt. Anderzijds om een gevoel te krijgen voor de invloed van het effect op de seismische dreiging (en uiteindelijk van het seismisch risico) voor verschillende productiescenario´s.

Een verlaging van de productie uit de Loppersumclusters heeft geleid tot een significante verlaging van de maximale piekgrondversnelling van 0,43g naar 0,35g (Figuur 9). Een verdere verlaging van de productie naar 33 miljard Nm^3 geeft slechts een zeer geringe verdere verlaging van de seismische dreiging (maximale piekgrondversnelling van 0,34g). Dit is een direct gevolg van het feit dat gedurende de door NAM geëvalueerde periode (1 juli 2016-1 juli 2021) de druk in het centrum van het veld – ondanks blijvende verlaging van de productie uit de clusters in deze regio – substantieel zal gaan dalen ten gevolge van de productie uit de clusters in de overige gebieden [11]. Hierdoor neemt de seismische dreiging in dit gebied, bij deze productieverlaging niet af (Figuur 9; [1,3]). Een verdere beperking naar 20 miljard Nm^3 per jaar geeft wel een verder afname van de seismische dreiging naar een maximale piekgrondversnelling van 0,26g. Door deze verlaging wordt een aanzienlijke beperking van de drukdaling in de regio rond Loppersum bereikt, waardoor de dreiging blijvend afneemt.



Figuur 9. Seismische dreiging voor de productiescenario's 45 , 39,4 , 33 en 20 miljard Nm3 per jaar bij een overschrijdingskans van 0,2%/jaar. Een verlaging van de piekgrondversnelling wordt vooral bereikt in de omgeving van de productie putten Tjuchem, Siddeburen, Schaapbulten en Oudeweg.

6.4.2 Invloed productiemaatregelen op seismisch risico

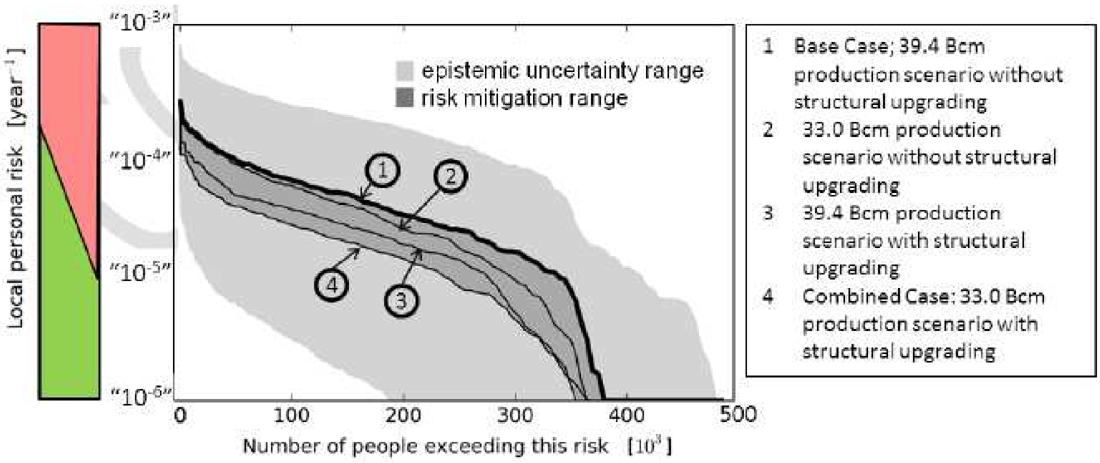
In deze paragraaf wordt nader ingegaan op het effect van productiemaatregelen op het seismisch risico.

In [2] en [4] worden de kwalitatieve resultaten voor de risicoberekeningen gegeven voor de productiescenario's 39,4 en 33 miljard Nm^3. Daarnaast wordt ook het effect op de risico's van het huizenversterkingsprogramma - zoals dat op dit moment voorzien wordt – uitgewerkt. In [5] wordt een additioneel productiescenario van 20 miljard Nm^3 ingaande in 2017 gegeven.

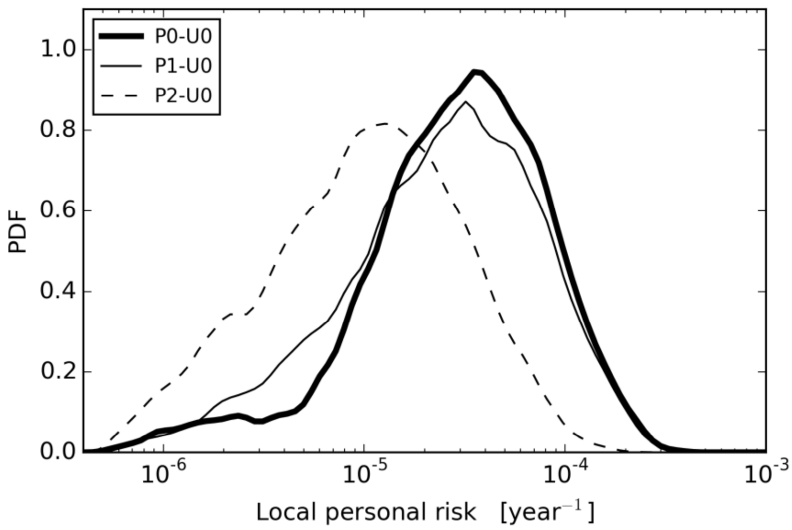
De uitkomsten van de NAM risicoberekeningen [2,4,5] geven aan dat het seismische risico kan worden verlaagd door middel van versterkingsmaatregelen en door middel van productiemaatregelen (Figuur 10). Productiemaatregelen hebben daarbij op de korte termijn (vanaf enkele maanden) het grootste effect.

Het effect van de productieverlaging van 39,4 miljard Nm^3 naar 33 miljard Nm^3 is voor de hoogste risico's – vooral gelegen in de regio Loppersum - beperkt (Figuur 10 en Figuur 11). Een substantiële vermindering van het risico wordt pas verkregen bij een substantiële verlaging van de gasproductie (Figuur 11). Hierdoor wordt een blijvende aanzienlijke beperking van de snelheid van drukdaling in het centrale gebied gerealiseerd, waardoor het risico verder wordt beperkt tot een niveau waarbij de verwachtingswaarde voor het risico voor vrijwel geen inwoners en woningen nog boven de 10^{-4}/jaar ligt (Figuur 11; [5]). De TNO controleberekeningen bevestigen dit beeld en laten zien dat een blijvende verlaging van de seismische activiteit in de regio Loppersum tot het niveau van 2014 (scenario 2 uit Tabel 1 [10]) resulteert in een vergelijkbare inschatting van het risico. TNO berekent dat er dan vrijwel geen woningen meer overblijven met een LPR boven de 10^{-4}, in goede overeenstemming met het resultaat van NAM weergegeven in Figuur 11.

Ook door prioritering en optimalisatie van het huizenversterkingsprogramma kunnen mogelijk al op termijn van enkele jaren merkbare effecten op het risiconiveau worden verwacht. Risicoverlaging zou daarnaast ook verkregen kunnen worden door drukhandhaving bijvoorbeeld met behulp van grootschalige stikstofinjectie. De termijn waarop zo'n project gerealiseerd kan worden is in de orde van 10 jaar en daarmee voornamelijk relevant in aanvulling op andere maatregelen.



Figuur 10. Inschatting van het aantal inwoners met een lokaal persoonlijk risico dat de gegeven waarden overschrijdt voor verschillende productiescenario's (39,4 en 33 miljard Nm^3) en het effect van het huizenversterkingsprogramma in combinatie met deze productiescenario's [figuur 16 uit 2 en 4].



Figuur 11. Kansdichtheidsfunctie (Engels: probability density function, afgekort PDF) van het lokaal persoonlijk risico voor de verschillende productiescenario's: 39,4 bcm – P0-U0; 33 bcm – P1-U0; 20 bcm – P2-U0 [figuur 5 uit 5].

6.4.3 Conclusies over invloed productiemaatregelen

Op basis van bovenstaande resultaten concludeert SodM:

- Berekeningen van NAM en TNO wijzen uit dat de gunstige gevolgen van de beperking van de productie in Loppersum tijdelijk zijn. Doordat de gasvoerende gesteentelagen in het hele Groningenveld met elkaar in verbinding staan, zal de gaswinning en de daarmee gepaard gaande drukdaling in de rest van het gasveld, op een termijn van 3 à 5 jaar (gerekend vanaf begin 2014) weer leiden tot een toename van de drukdaling rond Loppersum.
- Alleen een productieniveau dat aanmerkelijk lager ligt dan 33 miljard Nm^3/jaar leidt, in combinatie met versterking van gebouwen, tot een substantiële verdere verlaging van het seismisch risico. Echter:
  - Door het ontbreken van een geaccepteerde veiligheidsnorm en door de aanzienlijke onzekerheden in de gegevens die ten grondslag liggen aan de risicoberekeningen, kan SodM niet scherp aangeven bij welke combinatie van jaarproductie en gebouwenversterking het omslagpunt ligt naar een acceptabel veiligheidsniveau. Om dat omslagpunt beter te bepalen is nader onderzoek nodig.
  - Evenmin kan SodM aangeven welk productieniveau nodig is uit oogpunt van leveringszekerheid. En ook niet welke technische maatregelen (benodigde stikstofcapaciteit, opslagcapaciteit, etc.) nodig zijn om een bepaald productieniveau te handhaven en op welke termijn die beschikbaar kunnen zijn.
  - Het is op dit moment voor SodM niet voldoende duidelijk in welke mate een niet-gelijkmatige productie effect heeft op de seismiciteit. Hiervoor is nader onderzoek nodig.

7. Advies

Op grond van de conclusies die in dit rapport worden getrokken adviseert SodM het volgende:

1. **Stel op korte termijn de norm vast voor het plaatsgebonden risico[23]van geïnduceerde aardbevingen.**
   Toelichting: Zolang er geen norm is voor het plaatsgebonden risico door geïnduceerde aardbevingen, is er geen eenduidige maatstaf waarop de gasproductie kan worden afgestemd.

2. **Breng de gasproductie zo snel als realistisch mogelijk is zodanig terug dat de risico´s voldoen aan de vastgestelde norm (1). Onderzoek daarvoor op korte termijn:**
   a. **het effect van kortdurende (enkele weken), sterke productiefluctuaties in de verschillende regio's[24] van het Groningenveld op de seismiciteit**
   b. **bij welke combinatie van jaarproductie, productieverdeling en gebouwenversterking het omslagpunt ligt naar een veiligheidsniveau dat voldoet aan de vastgestelde norm.**

   Toelichting: Het is van groot belang dat de gasproductie van het Groningenveld zodanig wordt ingericht dat de inwoners van het aardbevingsgebied weten waar ze aan toe zijn. Dat betekent dat de gaswinning moet voldoen aan een vastgestelde veiligheidsnorm voor geïnduceerde aardbevingen. Om dit te bereiken adviseert SodM om een risicogerichte manier van produceren te introduceren. Hiervoor is het nodig om over een goed inzicht te beschikken in de effecten van productiefluctuaties. Daarnaast moet er een goed inzicht zijn in de technische randvoorwaarden om de gasproductie ongestoord te laten verlopen. In het meet- en regelprotocol, dat de Minister van Economische Zaken als voorschrift (art. 4) aan het instemmingsbesluit heeft verbonden, is reeds een risicogerichte, adaptieve manier van produceren opgenomen met het oogmerk het seismisch risico te minimaliseren.

3. **Zorg dat de gasproductie in het tweede halfjaar van 2015 niet boven het productieplafond van het eerste halfjaar uitgaat en dat de verdeling van de gasproductie over de verschillende regio's, met inachtneming van de huidige productieplafonds, zodanig plaatsvindt, dat het seismisch risico wordt geminimaliseerd.**
   Toelichting: Als in het 2^e halfjaar van 2015 de gasproductie zou stijgen van 16,5 naar 22,9 miljard Nm^3 om het toegestane productieplafond van 39,4 miljard Nm^3 te halen, dan zou dat mogelijk kunnen uitmonden in een aanzienlijke toename van de seismiciteit.

---

[23] (Individueel) Plaatsgebonden Risico/ Lokaal Persoonlijk Risico: de kans dat iemand op een bepaalde locatie komt te overlijden in de periode van een jaar (in dit rapport ten gevolge van het bezwijken van een gebouw als gevolg van een aardbeving).

[24] Onder regio's wordt hier verstaan: Regio Loppersum: clusters Ten Post, De Paauwen, Overschild, Leermens, 't Zand; Regio Eemskanaal: cluster Eemskanaal; Regio Zuid-West: clusters Kooipolder, Slochteren, Zuiderveen, Spitsbergen, Tusschenklappen, Froombosch, Sappemeer; Regio Oost: clusters Bierum, Amsweer, Schaapbulten, Tjuchem, Siddeburen, Oudeweg, Zuiderpolder, Scheemderzwaag, De Eeker.

4. **Zorg dat alle inrichtingen die vallen onder het Besluit Externe Veiligheid, inclusief mijnbouwwerken, hun reeds bestaande kwantitatieve risicoanalyse voor het vaststellen van het "plaatsgebonden risico" en het "groepsrisico voor omwonenden[25]" zo spoedig mogelijk uitbreiden met scenario's voor aardbevingen en faalkansen van insluitsystemen onder aardbevingsbelasting.**
   Toelichting: SodM heeft vastgesteld dat bedrijven die vallen onder het Besluit Externe Veiligheid nog niet zijn meegenomen in de risicoanalyses van NAM. Het is SodM bekend dat er sinds medio 2013 door de Samenwerkende Bedrijven Eemsdelta (SBE) gewerkt wordt aan onderzoeken naar de aardbevingsbestendigheid van industriële installaties in de Eemsdelta. De voortgang daarvan is echter beperkt. Tot nu toe zijn er alleen kwalitatieve analyses uitgevoerd. Dat zou voortvarend uitgebreid moeten worden naar kwantitatieve risicoanalyses.

5. **Laat zo snel mogelijk het groepsrisico voor het door geïnduceerde aardbevingen beïnvloede gebied bepalen.**
   Toelichting: SodM is van mening dat groepsrisico's voor de besluitvorming minstens net zo belangrijk zijn als het plaatsgebonden risico. Vooral de jaarlijkse kans dat er een groep personen komt te overlijden ten gevolge van een geïnduceerde aardbeving in de regio Groningen is een belangrijk gegeven. Met de uitvoering van dit advies wordt inzicht verkregen in de slachtofferfrequentie ten gevolge van de bevingen en de aanvaardbaarheid van deze frequentie.

---

[25] (Individueel) Plaatsgebonden Risico/ Lokaal Persoonlijk Risico: de kans dat iemand op een bepaalde locatie komt te overlijden in de periode van een jaar (in dit rapport ten gevolge van het bezwijken van een gebouw als gevolg van een aardbeving).
Groepsrisico: de kans per jaar dat een groep personen van een bepaalde grootte (bijvoorbeeld 1, 10, 100 of 1000 personen) tegelijk slachtoffer wordt van een incident (in dit rapport: als gevolg van een aardbeving).

Geraadpleegde rapporten

Rapporten van NAM

1. Hazard and Risk Assessment for Induced Seismicity Groningen, Study 1 Hazard Assessment, 1 mei 2015.
2. Hazard and Risk Assessment for Induced Seismicity Groningen, Study 2 Risk Assessment, 1 mei 2015.
3. Hazard and Risk Assessment for Induced Seismicity Groningen, Study 1 Hazard Assessment; Additional scenario's integrated, 26 mei 2015.
4. Hazard and Risk Assessment for Induced Seismicity Groningen, Study 2 Risk Assessment, 26 mei 2015.
5. Note on an additional production schedule, 28 mei 2015
6. Maximum likelihood estimates of b-value for induced seismicity in the Groningen field, C.K. Harris & S.J. Bourne, Restricted Draft Report, 1 mei 2015.
7. An activity rate model of induced seismicity within the Groningen field, S.J. Bourne & S. Oates, Restricted Draft Report, 1 mei 2015.
8. Statistical methodology to test for seasonal variation in rates of earthquakes in the Groningen field, S. Bierman, R. Paleja & M. Jones, Restricted Draft Report, 1 mei 2015.
9. Activity rate Loppersum, R. Paleja, M. Jones, D. Randell & S. Bierman, Restricted Draft Report, 1 mei 2015.

Rapporten van TNO

10. Briefrapport "Plaatsgebonden individueel risico van panden in het invloedsgebied van het Groningenveld", 26 mei 2015.
11. Recent developments on the seismicity of the Groningen field in 2015, TNO-report: TNO 2015 R10755, 29 mei 2015.

Rapporten van CBS

12. Phase 1 update May 2015 : trend changes in ground subsidence in Groningen, F.P. Pijpers & D.J. van der Laan, 29 mei 2015.
13. Phase 1 update May 2015 : significance of trend changes in tremor rates in Groningen, F.P. Pijpers, 13 mei 2015.

Rapport KNMI

14. KNMI Review of three reports by NAM, D. Kraaijpoel, J. Spetzler & B. Dost, 26 mei 2015.

Rapporten TU Delft

15. GNSS Processing Groningen – Fase 1, H. van der Marel, 30 april 2015.
16. Bodemdalingsvariabiliteit uit InSAR data, Een studie naar haalbaarheid van het gebruik van 'secundair' bodemdalingssignaal en haar relatie tot aardbevingen in Groningen, R.F.Hanssen, mei 2015.

Overige documenten

17. Impact assessment Nederlandse Praktijk Richtlijn; Aardbevingsbestendig bouwen, Stuurgroep NPR, 8 januari 2015.

18. Technical Addendum to the Winningsplan Groningen 2013 Subsidence, Induced Earthquakes and Seismic Hazard Analysis in the Groningen Field, NAM, November 2013.

19. Besluit van de Minister van Economische Zaken tot instemming met het gewijzigd winningsplan Groningenveld, 29 januari 2015.

20. NAM, Overview PGA Hazard maps for SodM, 12 juni 2015

Bijlage: definities en begrippen

Aardbevingen en bodembeweging

Schaal van Richter:
Meetschaal waarop de waargenomen kracht van een aardbeving in een getal wordt uitgedrukt. De schaal is opgesteld door de Amerikaanse seismoloog Charles Francis Richter in 1935. Het is een logaritmische schaal van de sterkte van de trillingen zoals die gemeten wordt op het seismogram.

Contourenkaart:
Kaart waarop locaties met gelijke piekgrondversnellingen door lijnen zijn verbonden.

Grondversnelling:
De beweging van de bodem als gevolg van een aardbeving (uitgedrukt in m/s^2 maar meestal weergegeven als een fractie van g, de versnelling door de zwaartekracht, met $g = 10\ m/s^2$).

Seismische dreiging en risico

Conservatief:
Term die gebruikt wordt om aan te geven dat de voor berekeningen gebruikte uitgangspunten – of een opeenstapeling van onzekere prognoses – leiden tot een pessimistische voorspelling van de toekomstige situatie.

Kwetsbaarheidscurve *(Engels: Fragility curve):*
Empirische of rekenkundig bepaalde statistische relatie tussen bodembeweging (grondversnelling) en belastbaarheid van verschillende typen huizen en gebouwen, die gebruikt wordt om mogelijke schade te berekenen.

Overschrijdingskans/onderschrijdingskans:
De waarschijnlijkheid dat een bepaalde waarde van een onzekere fysische grootheid wordt overschreden/onderschreden.

Seismische dreiging:
De seismische dreiging (engels: hazard) is de kans (bijv. 0,2% per jaar) dat er een aardbeving plaatsvindt met een grondversnelling welke een gegeven grenswaarde overschrijdt (binnen een bepaalde periode, bijv. 1, 10 of 50 jaar).
Opmerking: Omdat het aantal bevingen van een bepaalde sterkte met de tijd kan veranderen, wordt de seismische overschrijdingskans altijd gespecificeerd voor een bepaald tijdvak

Seismisch risico:
De kans op door aardbevingen veroorzaakte schade (aan mensen, gebouwen, infrastructuur, productie). Risico wordt – in het algemeen – bepaald door de combinatie van de kans dat iets

gebeurt en de potentiële effecten daarvan. In die zin is "seismisch risico" de combinatie van de "seismische dreiging" en de potentiële effecten.

(Individueel) Plaatsgebonden Risico/ Lokaal Persoonlijk Risico:
De kans dat een persoon, die zich continu en onbeschermd op een op een bepaalde locatie bevindt, komt te overlijden in de periode van een jaar als gevolg van een incident (in dit rapport ten gevolge van het bezwijken van een gebouw als gevolg van een aardbeving).

Groepsrisico:
De kans per jaar dat een groep personen van een bepaalde grootte (bijvoorbeeld 10, 100 of 1000 personen) tegelijk slachtoffer wordt van een incident (in dit rapport: als gevolg van een aardbeving).

Aardbevingbestendig
In de huidige context wordt hiermee alleen bedoeld een voldoende weerstand tegen instorten ten gevolge van een aardbeving. Scheurvorming of zwaardere schade blijft mogelijk bij zware (zeldzaam optredende) bevingen.

Sterkte/capaciteit/weerstand tegen aardbevingen
Synoniemen voor de piekgrondversnelling waarbij een bouwwerk (net) zal instorten. De sterkte is een onzekere grootheid, waardoor in bouwnormen gerekend wordt met waarden die corresponderen met bepaalde onderschrijdingskansen.

Algemene (technische) termen

Empirisch:
Letterlijke betekenis: 'proefondervindelijk'. Een empirisch resultaat is een onderzoeksresultaat dat is verkregen door het vergelijken van de drijvende kracht van een proces met de waargenomen respons, zonder dat (noodzakelijkerwijs) de fysische relatie tussen die drijvende kracht en de respons is verklaard en begrepen. Extrapolatie van langs empirische weg verkregen resultaten is alleen toegestaan onder de aanname dat het onderzochte systeem zich in andere omstandigheden (bijv. in de toekomst, of op andere ruimtelijk schaal) net zo zal gedragen als in de huidige situatie. Zonder die toevoeging heeft een extrapolatie geen waarde.

Probabilistisch:
Letterlijke betekenis: 'rekening houdend met waarschijnlijkheid'. In een probabilistisch rekenschema wordt een groot aantal (realistische) scenario's doorgerekend, waarbij voor elk scenario de keuze van input parameters rekening houdt met hun waarschijnlijkheidsverdeling (d.w.z. de kans dat een parameter een bepaalde waarde heeft).

Aleatorische onzekerheid:
De toevallige of statistische onzekerheid. Zelfs bij perfecte modellen, volledige kennis en volledig begrip blijft deze onzekerheid bestaan. Een goed voorbeeld is het gooien van kop of munt. Bij tien keer gooien is het aantal malen dat kop optreedt niet te voorspellen. Wel kan voor iedere

mogelijke uitkomst de waarschijnlijkheid bepaald worden. Een ander voorbeeld is het aantal aardbevingen van een gegeven sterkte in een gegeven jaar. Ook daarvoor kan de uitkomst niet voorspeld worden, wel de waarschijnlijkheid van de verschillende uitkomsten. De aleatorische onzekerheid is niet te verminderen.

Epistemische onzekerheid:
De onzekerheid die het gevolg is van de onjuistheden, onnauwkeurigheden of onvolledigheid van gebruikte berekeningsmodellen en van de onzekerheden van de ingebrachte randvoorwaarden en parameters, zoals van toepassing in een deterministische gevaarsanalyse of een probabilistische risicoanalyse. Deze onzekerheid wordt veroorzaakt door een gebrek aan kennis. Op basis van meer kennis, meer onderzoek en meer metingen kan de epistemische onzekerheid in de loop van de tijd vaak worden teruggebracht.

Autocorrelatie:
De mate van gelijkenis tussen een signaal en een in de tijd verschoven kopie daarvan. Bijvoorbeeld de grafiek van het aantal aardbevingen per maand tegen de tijd en een in de tijd verschoven versie daarvan. Het is een wiskundig instrument om zich herhalende patronen te vinden, zoals de aanwezigheid van een periodiek signaal in ruis. Bij aardbevingen kan de techniek gebruikt worden om te onderzoeken of er in bepaalde perioden in het jaar meer of juist minder bevingen optreden.

Kruiscorrelatie:
De mate van gelijkenis tussen twee verschillende signalen waarbij het tweede signaal ten opzichte van het eerste signaal in de tijd verschoven wordt. Het is een wiskundig instrument om te onderzoeken of het tweede signaal mogelijk een vertraagd gevolg is van het eerste signaal en om de grootte van die vertraging vast te stellen. Voor geïnduceerde aardbevingen kan de techniek gebruikt worden om te onderzoeken of veranderingen in het maandelijks aantal bevingen volgen op veranderingen in de maandelijkse gasproductie en met welke eventuele vertraging.

Eenheden

Normaal kubieke meter (Nm^3):
Bij getallen van hoeveelheden gas hoort aangegeven te worden bij welke druk en temperatuur de hoeveelheid is gemeten. Bij een "normaal" kubieke meter gas hoort een druk van 101,325 kiloPascal (1 atmosfeer) en 0 graden Celcius. De gebruikelijke afkorting voor een normaal m^3 is: Nm^3.

BCM:
BCM is een afkorting voor Billion Cubic Metres, ofwel: miljard m^3. De afkorting "BCM" wordt uitsluitend gebruikt om hoeveelheden aardgas aan te duiden. In dit rapport betekent BCM: miljard Nm^3 (zie omschrijving van "normaal kubieke meter").

<u>Bouwvoorschriften</u>

Nederlandse Praktijk Richtlijn:

Een richtlijn om de sterkte van een gebouw te bepalen gegeven een bepaalde verwachte piekgrond-versnelling. Een richtlijn heeft een lagere status dan een NEN- of EN-norm